

## SISTEMA DE CONTROL PARA GENERADORES DE VAPOR UTILIZANDO CONCENTRADORES SOLARES TIPO FRESNEL

Hoyos D. Serrano V. H. Villena M. Moya T.J. Gogolino  
 INENCO (Instituto Nacional de Energías No Convencionales) CONICET  
 CIUNSa (Consejo de Investigación Universidad Nacional de Salta)  
 Avenida Bolivia 5152 C.P. 4400 – Salta  
 Tel. 0387-4921463 e-mail: hoyosdani@gmail.com

**RESUMEN:** En el presente trabajo se describe la implementación y puesta a punto de un sistema de control que tendrá a su cargo un concentrador solar tipo fresnel. Este sistema involucra el control del movimiento de grupos de espejos, bombas de suministro de agua, bombas de re-correlación de agua, válvula de control de vapor. Para tal fin este sistema utiliza una computadora central que dispone de una placa NI6040E que incluye conversores análogo-digitales, conversores digital/análogos y puertos digitales. El software de control fue desarrollado utilizando LabVIEW un software de instrumentación virtual del fabricante NATIONAL.

**Palabras clave:** energía solar, concentradores, control, instrumentación

### INTRODUCCIÓN

La puesta a punto y el control de un sistema generador de vapor que utiliza como fuente de calor un concentrador solar tipo fresnel (Gea, 2007). requiere desarrollar un complejo algoritmo. En este trabajo se describe el hardware y el software de dicho sistema.

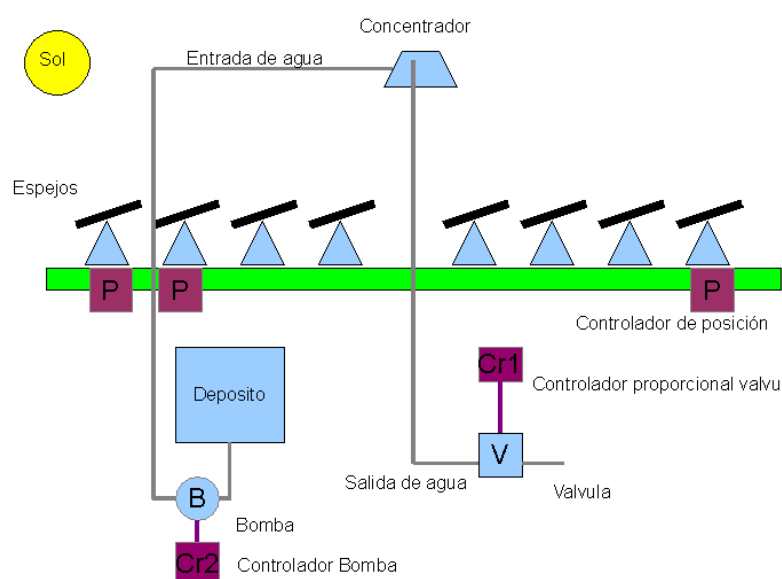


Figura 1: Esquema general del sistema, se muestra en negro los espejos, el

Según se muestra en la figura 1 existen tres tipos de controles necesarios para este sistema.

- El control de seguimiento del movimiento del sol por los espejos.
- El control de la bomba
- El control de la válvula.

El control de seguimiento del sol fue desarrollado y expuesto en artículos anteriores de esta publicación (Hoyos, 2008) y (Hoyos, 2009) pero surgieron distintos problemas en la implementación que complicaron la operación del sistema. Los mismos fueron:

- Necesidad de desenfocar una parte de los espejos cuando el sistema esta muy caliente
- Dificultad en la correcta colocación de los sensores de radiación
- La utilización de una velocidad media diaria para los espejos, este criterio no es del todo adecuado si consideramos que las velocidades de los espejos al amanecer y al atardecer son muy distintas de la media diaria.
- La inclusión de una conexión entre la reducción y los ejes de espejos de metal puede ocasionar la ruptura de la pieza ante el menor desbalance figura 2a. Mientras que una conexión de goma produce alinealidades en el movimiento figura 2b.



*Figura 2a: Rotura de union entre espejo y reducción*



*Figura 2b Unión de espejo con reducción de goma*

La observación y estudio de todos estos aspectos condujeron al re-diseño del sistema. En el actual trabajo la operatoria de control incluye como nodo central una PC embebida PXI8155, la misma dispone de un software de instrumentación denominado LABVIEW.

### **LABVIEW**

Es una herramienta gráfica desarrollada por National Instruments, (Lazaro et al, 2005) utilizada principalmente en control, diseño y etapas de prueba. Se programa un Lenguaje denominado G por sus fabricantes. El nombre se debe a que toda la tarea se lleva a cabo con herramientas gráficas. Los programas creados con LABVIEW se denominan VI's (Virtual Instruments).

Originalmente la herramienta se utilizaba para el control de instrumentos, hoy en día su uso se expandió a toda la instrumentación electrónica y a programación embebida. Su uso potencia el desarrollo rápido de aplicaciones de control, tanto en automatización industrial, control de procesos, domótica y redes de sensores.

### **ESQUEMA GENERAL DE CONTROL**

El sistema de control consiste en una PC embebida PXI8155 que tiene una placa de adquisición de datos NI6040, la cual dispone de ocho canales digitales, dieciséis canales analógicos digitales de doce bits y dos canales digital/analógicos de doce bits. Este sistema debe controlar:

- Tres sistema de seguimiento del sol,
- Una bomba de agua que utiliza para su control un variador de velocidad que tiene una entrada analógica.
- Una válvula proporcional que tiene una entrada analógica para el control (en la implementación del diseño todavía no se cuenta con la válvula pero se incorporan sus funciones en el software de control).

El esquema general se esquematiza en la figura 3

El control de la bomba utiliza un variador de velocidad que requiere una tensión entre 0 y 12V y una corriente 1mA suministrada por la placa NI 4060E. La válvula proporcional también requiere una tensión entre 0 y 12 V con una pequeña corriente, estos datos aclaran que estas no requieren una interfaz complicada. Mientras que el sistema de seguimiento del sol tiene mayor complejidad.

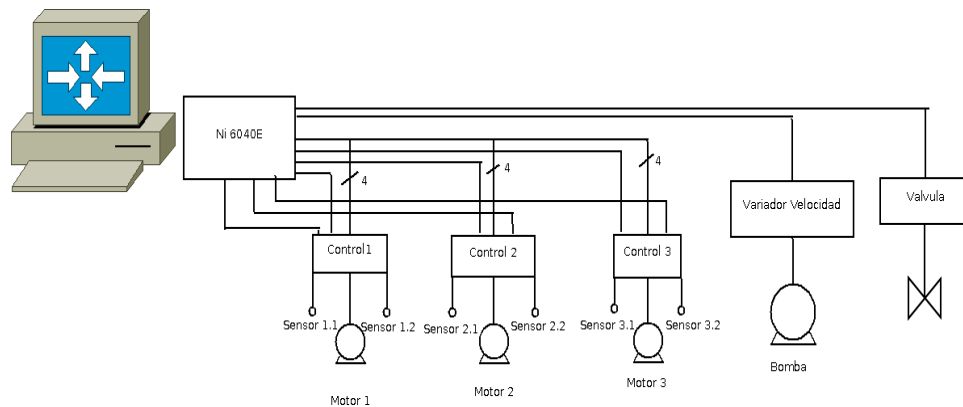


Figura 3: Esquema general del control

## SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL SOL

Este sistema tiene por objeto el control del movimiento de los espejos a lo largo del día. Este movimiento tiene la particularidad de que en todo momento los rayos del sol que inciden sobre los espejos debe reflejarse hacia el concentrador. Si el sistema no tuviera re-alimentación presentaría el inconveniente de las alineaciones impuestas por el sistema mecánico. Si consideramos la re-alimentación, se debe tomar en cuenta aspectos como la cobertura del sol por parte de las nubes, ocasionando que el sistema no reciba radiación directa. Tomando en cuenta estos aspectos la solución se encamina a un sistema mixto, el cual se detalla a continuación. El mismo consta de tres partes:

- Interfaz de Potencia
- Placa de control
- Software de operación

## INTERFASE DE POTENCIA

La interfaz de potencia desarrollada en (Hoyos,2009) consistía en un driver para motor paso a paso unipolar que constaba de cuatro MOSFET de potencia IRFZ47 que permitía trabajar con una corriente de hasta 40 A y una tensión de 12 Volt. Este sistema tenía como desventaja el uso de lógica negativa, este hecho implicaba que existía un tiempo entre el momento que se prendía la computadora y el comienzo del programa de control que los motores estaban recibiendo corriente continuamente, lo que provocaba su calentamiento.

En el presente trabajo se reemplazó el motor por uno de una potencia mas elevada (denominado 23HS283), y se re-diseñó el circuito de control de potencia de forma que la lógica de control fuera lógica positiva. En el esquema de la figura 4 se muestra el circuito diseñado. En él se realiza una doble inversión de tensión. Este circuito tiene la ventaja que puede operar con distintas tensiones de alimentación y con distintas señales de entrada. Específicamente fue diseñado para utilizar una tensión de 3.3 Volt .

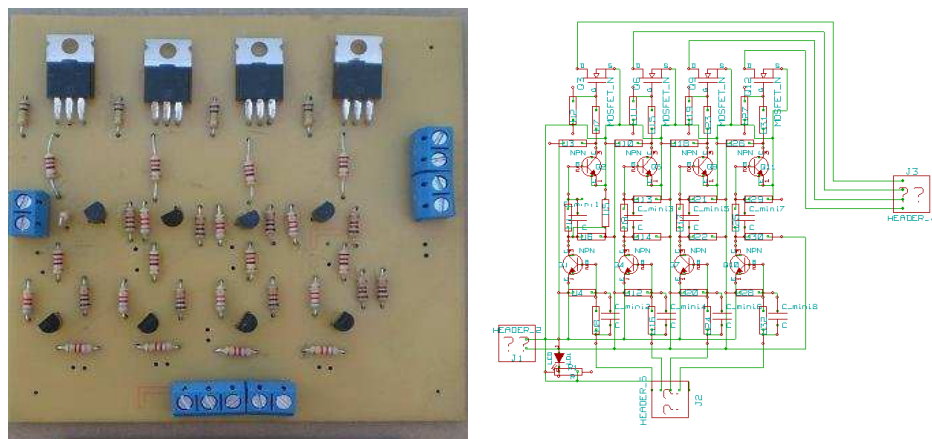


Figura 4: Circuito de control de los motores paso a paso

Este sistema de control tiene como entradas la tensión de alimentación, las señales necesarias para controlar el motor paso a paso y como salida las señales de potencia para el motor paso a paso. El funcionamiento de un motor paso a paso se lleva a cabo conectando una bobina por vez. Como el motor posee un imán permanente, trata de alinearse al campo de la bobina. El pulso que se debe enviar al motor debe tomar en cuenta la inercia del mismo, como así también la inercia del sistema completo. Esto define un tiempo de retardo del sistema, este retardo debe ser menor al tiempo de duración del pulso del sistema de control; para determinar este tiempo se realizó un ensayo que consiste en enviar la secuencia de funcionamiento del motor a distintas duraciones de pulsos.

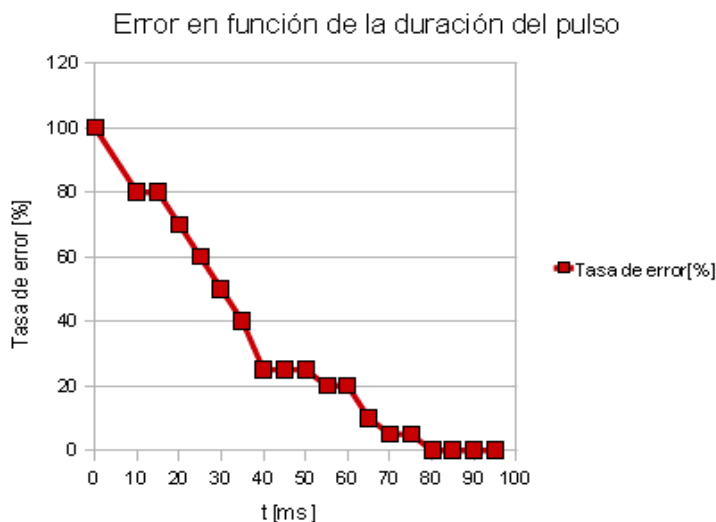


Figura 5: Errores en función de la duración de los pulsos

Mediante la gráfica de la figura 5 se determinó que el tiempo de duración de pulso debe ser del orden de 100 [milisegundos] siendo esta medida razonable para este sistema.

## INTERFASE DE CONTROL

Analizando los tiempos entre pasos necesarios para mantener sincronizado el movimiento de los espejo con el movimiento del sol (Hoyos, 2009) se determinó que éste variaba según la época del año (entre 8 segundos y 5 segundos) tomando en cuenta que la duración del pulso para mover el motor era de 100 milisegundos, se propone encender un motor durante 100 milisegundos, esperar un tercio del tiempo total entre pasos y luego accionar el siguiente motor. Esta acción se repite para el siguiente motor, como se esquematiza en la figura 6. De este modo se consigue un ahorro importante en la energía suministrada al sistema.

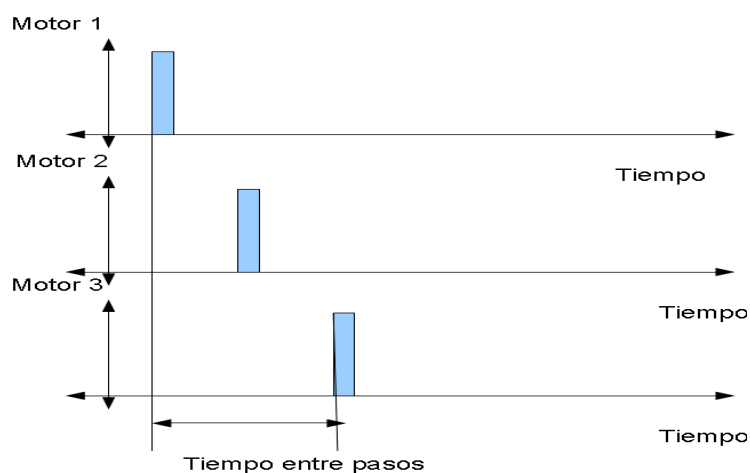


Figura 6: Esquema de funcionamiento de los tres motores

Debido a que la plaqueta NI4060 solo tiene ocho puertos de control digital, se propuso utilizar cuatro para enviar las señales de los motores y tres para seleccionar cual motor se desea utilizar. El programa desarrollado en LabVIEW encargado de realizar esta tarea se muestra en la figura 7 y es el encargado de las acciones propuestas en el punto anterior. También se supone que el tiempo del valor alto puede ser variable.

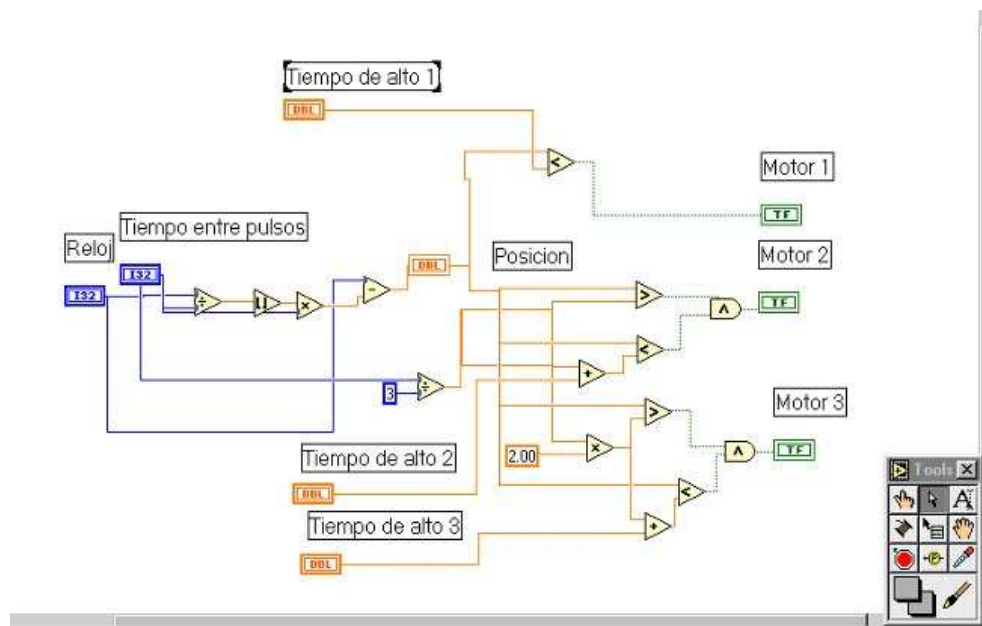


Figura 7: VI de selección de motor

La plaqueta encargada de seleccionar cuál motor se utiliza junto con la interfase para los sensores de posición es la mostrada en la figura 8. El circuito integrado mostrado es un bus transceiver, o sea que cuando la patita de selección se pone a cero transmite la información, en caso contrario no lo hace y se coloca a cero.

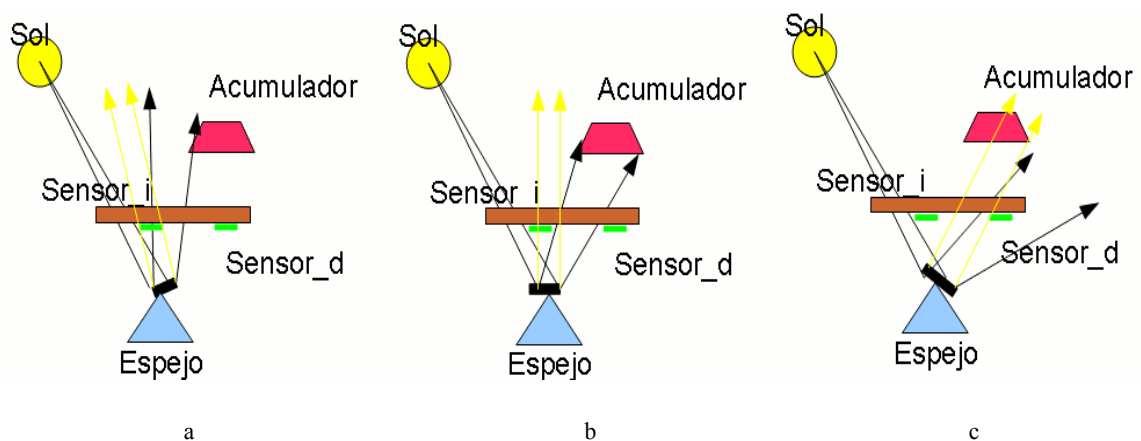


Figura 8: Funcionamiento de la realimentación analógica

## REALIMENTACION ANALOGICA

En la figura 8 se muestra un esquema del sistema: un espejo el acumulador, el sol, la trayectoria de los rayos (en negro), la normal a la superficie del espejo (en amarillo) y los sensores (en verde). Cuando el sistema está sintonizado figura 8b los sensores no están iluminados dado que solo pueden recibir rayos reflejados por los espejos. Esto se consigue colocando una plancha metálica paralela a la superficie de la tierra de 5 cm de ancho en posición perpendicular a los espejos. En el caso que el sistema se atrase se ilumina el *sensor\_i* como se muestra en la figura 8a y cuando se adelanta se ilumina el *sensor\_d* como muestra la figura 8c. Por lo tanto la lógica de control debe ser tal que cuando el sistema se adelanta el motor debe detenerse. En caso de atrasarse el sistema debe funcionar al doble de la velocidad y en caso de estar sintonizado el sistema debe funcionar a la velocidad calculada. En caso que este cubierto el sol por una nube el sistema sigue a la velocidad calculada. Los sensores utilizados son LDR de 10 Kohm con una resistencia serie en caso de estar sintonizado el sistema o con radiación difusa la respuesta de los sensores es mayor de 1[Volt], en caso de desintonizarse e iluminarse uno de los sensores es menor de 0.5 [Volt]. El programa que realiza esta lógica de control se muestra en la figura 9.

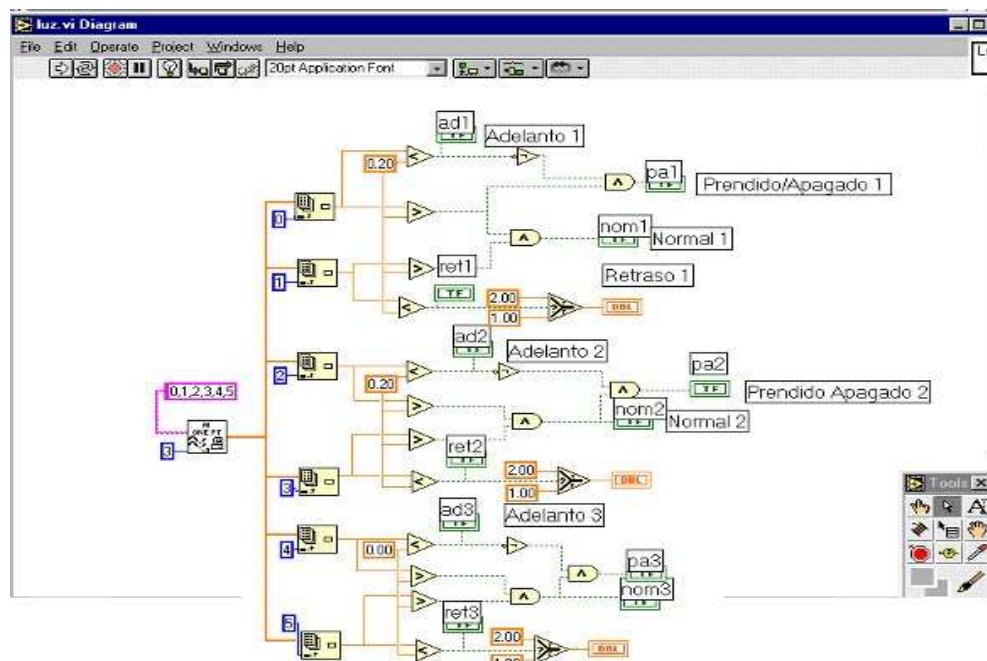


Figura 9: Lógica de control realimentando posición

El programa que realiza el control total del sistema se muestra en la figura 10. Se muestra las dos VI ya descritas y tiene la opción de seleccionar el motor que se desea operar. Esta solución tiene que ver con la necesidad que un operador externo pueda sintonizar los espejos al comienzo del día o en caso de que el sistema se perdiera por alguna razón. También tiene la posibilidad de que los motores puedan funcionar en sentido contrario.

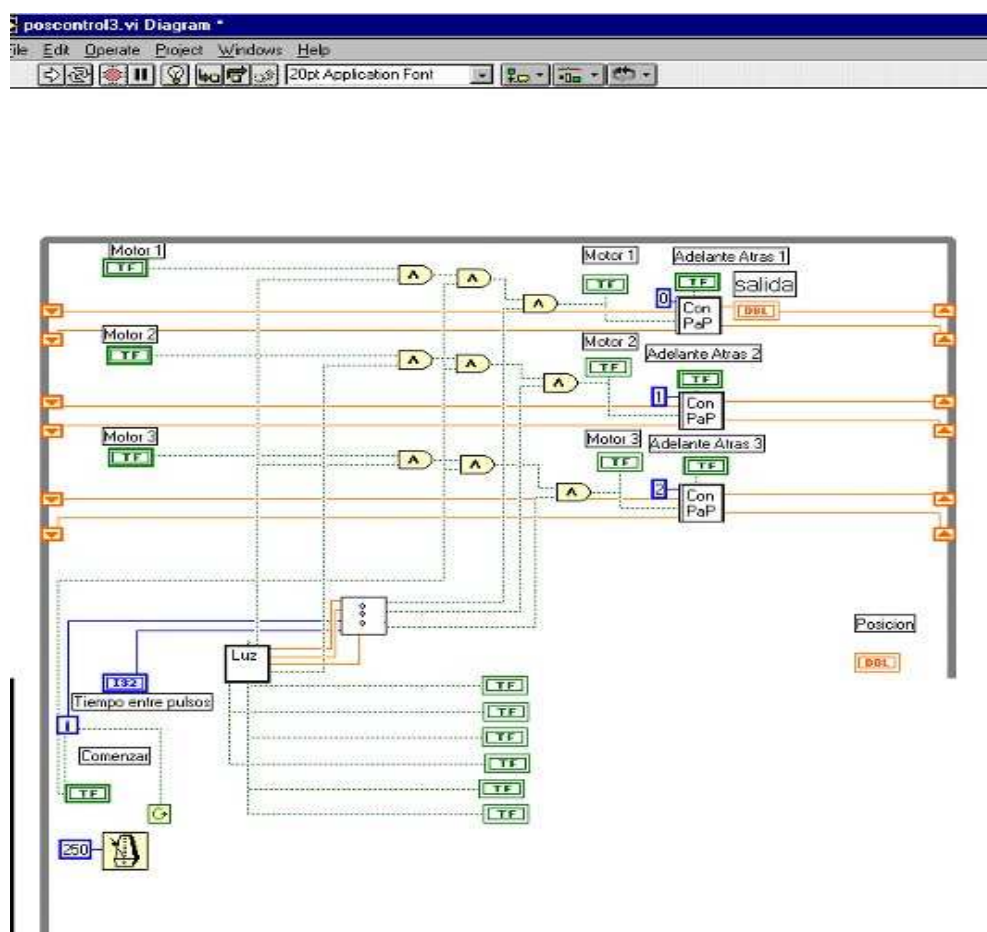


Figura 10: Control general del sistema



## CONTROL DE BOMBAS Y VALVULAS

El control de la válvula y de la bomba se realiza utilizando los conversores DA de la placa NI4060 y el programa de control se muestra en la figura 11.

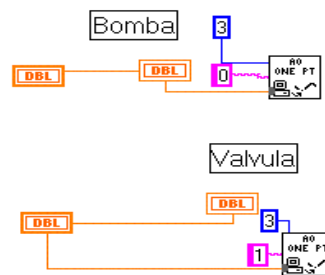


Figura 11: Control de valvula y bomba

Finalmente la interfase hombre máquina del sistema es la mostrada en la figura 12, la cual se permite manejar todas las variables del sistema que incluye los tres motores, la bomba y la válvula.

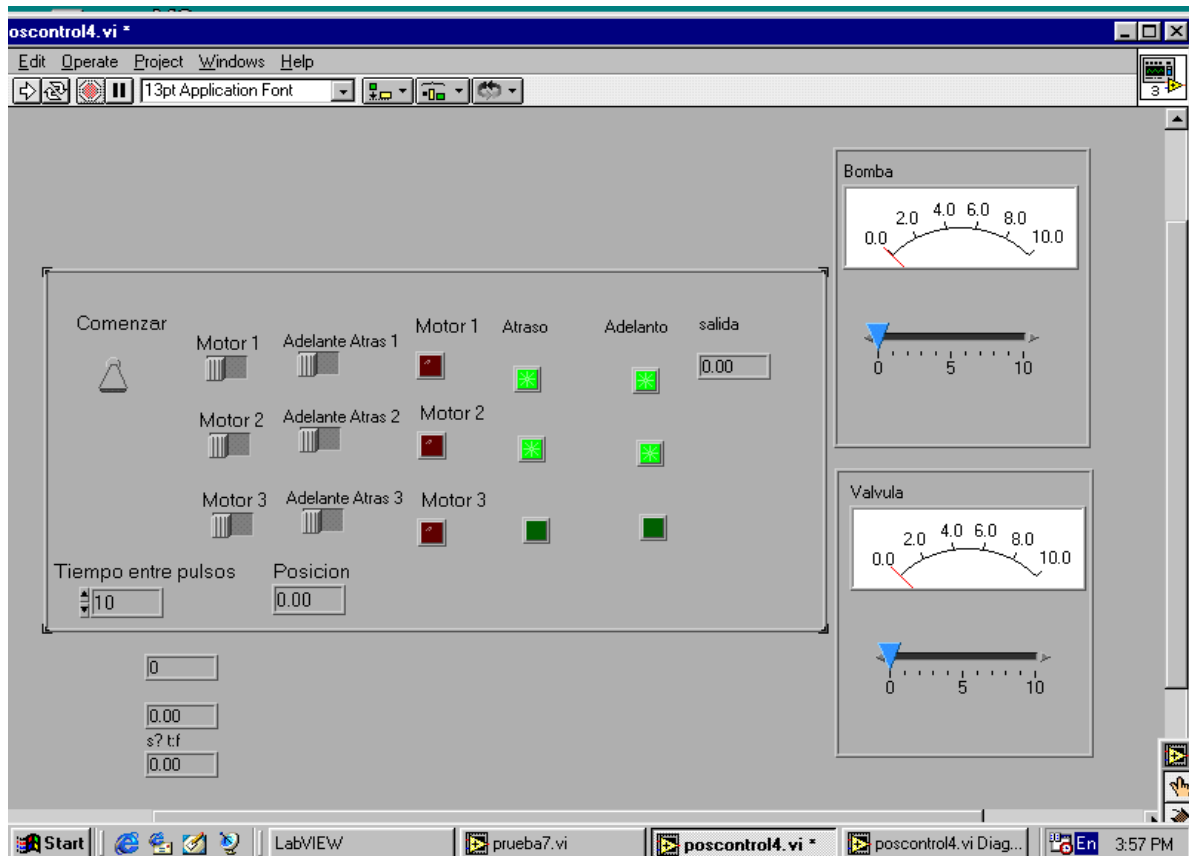


Figura 12: Pantalla del programa principal

## CONCLUSIONES

En este trabajo se describe el rediseño del control de tracking para un sistema concentrador fresnel. Se tuvo en cuenta la experiencia de un año de operación y todas las dificultades que planteadas. Este nuevo sistema se encuentra en ensayo y, por el momento, consigue mejorar el desempeño del anterior, con una operación mas sencilla. Se debe destacar que es de primordial importancia la correcta determinación del tiempo entre pulsos. Una deficiente determinación del mismo determina que el sistema se desintonice rápidamente a pesar que lo hace más lentamente que el anterior. Las alinealidades producidas por el acople son salvadas si se cumple la condición anterior.

## REFERENCIAS

- Gea M., Saravia L. et al “Concentrador Lineal Fresnel para la Generación Directa de Vapor de Agua” AVERMA Vol 11, 2007 - ISSN 0329-5184
- D. Hoyos, M. Gea, C. Cadena y R. Echazú ( 2008) Diseño y construcción de seguidores solares análisis y comparación. AVERMA Vol 12
- D. Hoyos T. Moya R. Echazú A. Hernández (2009) SISTEMA DE CONTROL PARA EL SEGUIDOR SOLAR DE UN CONCENTRADOR TIPO FRESNEL Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 13
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.
- Antoni Manuel Lázaro Joaquin del Río Fernández (2005) Labview 7.1 1ª edición Thomson

## ABSTRACT

This paper describes the implementation and development of a control system that will be responsible for a type fresnel solar concentrator. This system involves controlling the movement of groups of mirrors, water pumps, pumps for re-correlation of water, steam control valve. To this end, this system uses a central computer that has a plate NI6040E including analog-digital converters, converters, digital / analog and digital ports. The control software was developed using LabVIEW virtual instrumentation software NATIONAL manufacturer.

**Keywords:** solar energy, fresnel concentrator, control, instrumentation